

PATENT

JC986 U.S. PRO
09/26/01



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicants : Gabriele Barlocchi et al.
Filed : September 26, 2001
For : INTEGRATED CHEMICAL MICROREACTOR, THERMALLY
INSULATED FROM DETECTION ELECTRODES, AND
MANUFACTURING AND OPERATING METHODS THEREFOR

Docket No. : 854063.650
Date : September 26, 2001

Box Patent Application
Commissioner for Patents
Washington, DC 20231

PRIORITY CLAIM

Commissioner for Patents:

This application claims the priority of European Patent Application Number
00830640.9, filed September 27, 2000.

Respectfully submitted,

Gabriele Barlocchi et al.

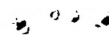
Seed Intellectual Property Law Group PLLC

Robert Iannucci

Registration No. 33,514

RXI:wt

701 Fifth Avenue, Suite 6300
Seattle, Washington 98104-7092
Phone: (206) 622-4900
Fax: (206) 682-6031
D:\NrPortbl\iManage\WENDYT\218775_1.DOC

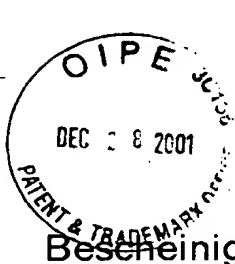




Europäisches
Patentamt

Eur pean
Patent Office

Office eur péen
des brevets



Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterla-
gen stimmen mit der
ursprünglich eingereichten
Fassung der auf dem näch-
sten Blatt bezeichneten
europäischen Patentanmel-
dung überein.

The attached documents
are exact copies of the
European patent application
described on the following
page, as originally filed.

Les documents fixés à
cette attestation sont
conformes à la version
initialement déposée de
la demande de brevet
européen spécifiée à la
page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

00830640.9

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

I.L.C. HATTEN-HECKMAN

DEN HAAG, DEN
THE HAGUE, 22/10/01
LA HAYE, LE





Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets

**Blatt 2 der Bescheinigung
Sheet 2 of the certificate
Page 2 de l'attestation**

Anmeldung Nr.:
Application no.:
Demande n°: 00830640.9

Anmeldetag:
Date of filing:
Date de dépôt: 27/09/00

Anmelder:
Applicant(s):
Demandeur(s):
STMicroelectronics S.r.l.
20041 Agrate Brianza (Milano)
ITALY

Bezeichnung der Erfindung:
Title of the invention:
Titre de l'invention:

Integrated chemical microreactor, thermally insulated from detection electrode, and manufacturing method therefor

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s) revendiquée(s)

Staat:
State:
Pays:

Tag:
Date:
Date:

Aktenzeichen:
File no.
Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation:
International Patent classification:
Classification internationale des brevets:
B81B3/00, B81C1/00, B01L3/00

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten:
Contracting states designated at date of filing: AT/BE/CH/CY/DE/DK/ES/FI/FR/GB/GR/IE/IT/LI/LU/MC/NL/PT/SE/TR
Etats contractants désignés lors du dépôt:

Bemerkungen:
Remarks:
Remarques:

See for original title of the application page 1 of the description

-1-

MICROREATTORE CHIMICO INTEGRATO ISOLATO TERMICAMENTE
DAGLI ELETTRODI DI RILEVAMENTO E RELATIVO PROCEDIMENTO
DI REALIZZAZIONE

5 La presente invenzione riguarda un microreattore
chimico integrato isolato termicamente dagli elettrodi
di rilevamento ed un relativo procedimento di realizza-
zione.

 Come è noto, esistono fluidi il cui trattamento
10 richiede una regolazione sempre più precisa della tem-
peratura, in particolare quando sono coinvolte reazioni
chimiche o biochimiche. A tale requisito, si unisce
spesso la richiesta di utilizzare quantità molto picco-
le di fluido a causa del costo del fluido stesso o di
15 una bassa disponibilità.

 Questo è il caso ad esempio del processo di ampli-
ficazione del DNA (processo di reazione a catena della
polimerasi o PCR, dall'inglese Polymerase Chain Reac-
tion) in cui il controllo preciso della temperatura
20 nelle diverse fasi (è necessario eseguire cicli termici
prefissati ripetuti), la necessità di evitare il più
possibile gradienti termici nelle zone di reazione del
fluido (in modo che in tali zone sia presente tempera-
tura uniforme) ed inoltre la riduzione della quantità
25 di fluido utilizzato (che è molto costoso) sono di im-

-2-

portanza cruciale per ottenere una buona efficienza della reazione o addirittura per la riuscita della stessa.

Altri esempi di trattamento di fluidi con le caratteristiche sopra indicate sono ad esempio legati all'effettuazione di analisi chimiche e/o farmacologiche, esami biologici, ecc.

Attualmente, esistono varie tecniche che consentono il controllo termico di reagenti chimici o biochimici. In particolare, a partire dalla fine degli anni '80 sono state sviluppati dei dispositivi miniaturizzati, e quindi di massa termica ridotta, in grado di ridurre i tempi necessari per completare il processo di amplificazione del DNA. Recentemente, sono stati proposti dispositivi integrati monolitici di materiale semiconduttore in grado di trattare piccole quantità di liquido in condizioni di reazione controllate e a basso costo (si vedano ad esempio le domande di brevetto europeo 00830098.0 dell'11.2.2000 e 00830400.8 del 5.6.2000 a nome della stessa richiedente).

Tali dispositivi comprendono un corpo di materiale semiconduttore alloggiante canali sepolti collegati, attraverso una trincea di ingresso ed una trincea di uscita, ad un serbatoio di ingresso ed ad un serbatoio di uscita in cui viene fornito il liquido da trattare

-3-

e, rispettivamente, viene raccolto il liquido al termine della reazione. Al di sopra della zona dei canali sepolti sono previsti elementi riscaldatori e sensori termici, per controllare le condizioni termiche della
5 reazione (che generalmente richiede diversi cicli in temperatura, con un preciso controllo della stessa) e nel serbatoio di uscita sono previsti degli elettrodi di rilevamento, per l'esame del liquido reagito.

Nei microreattori chimici del tipo indicato, esiste il problema di isolare termicamente la zona di reazione (dove sono presenti i canali sepolti e gli elementi riscaldatori) dalla zona di rilevamento (dove sono presenti gli elettrodi di rilevamento). Infatti la
10 reazione chimica avviene a temperatura elevata (ciascun ciclo termico comporta una temperatura fino a 94°C), mentre gli elettrodi di rilevamento devono essere mantenuti a temperatura ambiente costante.

Scopo dell'invenzione è quindi realizzare un microreattore integrato in grado di risolvere il problema
15 sopra indicato.

Secondo la presente invenzione vengono realizzati un microreattore integrato ed un relativo procedimento di fabbricazione, come definiti nelle rivendicazioni 1 e, rispettivamente 11.

25 Per la comprensione della presente invenzione ne

-4-

vengono ora descritte forme di realizzazione preferite, a puro titolo di esempio non limitativo, con riferimento ai disegni allegati, nei quali:

- la figura 1 mostra una sezione trasversale attraverso una fetta di materiale semiconduttore in una fase di fabbricazione iniziale di un microreattore secondo l'invenzione;
- la figura 2 mostra una vista dall'alto della fetta di figura 1;
- 10 - la figura 3 mostra una sezione trasversale attraverso la fetta di figura 1, in una successiva fase di fabbricazione;
- la figura 4 mostra una vista dall'alto di una porzione di maschera utilizzata per la realizzazione
15 della struttura di figura 3;
- le figure 5-9 mostrano sezioni trasversali attraverso la fetta di figura 3, in successive fasi di fabbricazione;
- la figura 10 mostra una sezione trasversale prospettica di una parte della fetta di figura 8;
20
- le figure 11-16 mostrano una sezione trasversale attraverso la fetta di figura 9, in scala ridotta e in successive fasi di fabbricazione; e
- le figure 17-20 mostrano sezioni trasversali at-
25 traverso una fetta di materiale semiconduttore, in suc-

-5-

cessive fasi di fabbricazione secondo una variante dell'invenzione.

Secondo quanto mostrato in figura 1, una fetta 1 comprende un substrato 2 di materiale semiconduttore monocristallino, ad esempio silicio, avente una superficie superiore 3. Il substrato 2 presenta orientazione cristallografica $\langle 110 \rangle$ invece che $\langle 100 \rangle$, come mostrato in figura 2 che mostra anche il "flat" della fetta 1 avente orientamento $\langle 111 \rangle$. In figura 2 è mostrata anche la direzione longitudinale L di un canale 21, ancora da realizzare in questa fase.

Sulla superficie superiore 3, è presente una pila di strati 5 comprendente uno strato di ossido di "pad" 7, di ad esempio circa 60 nm; un primo strato di nitru- ro 8, di ad esempio circa 90 nm; uno strato di polisilicio 9, di ad esempio 450-900 nm; ed un secondo strato di nitruro 10, di ad esempio 140 nm.

La pila superiore di strati 5 viene mascherata tramite una maschera di resist 15 dotata di una pluralità di finestre 16 disposte secondo una configurazione ("pattern") opportuna, come mostrato in figura 4.

In dettaglio, le aperture 16 hanno forma quadrata con lati inclinati a 45° rispetto alla direzione longitudinale della maschera di resist 15, parallela all'asse z. Ad esempio, i lati delle aperture 16 sono

-6-

di circa 2 μm e si estendono ad una distanza di 1,4 μm dal lato affacciato di un'apertura 16 adiacente.

Allo scopo di consentire lo scavo di canali profondi nel substrato 2, come in seguito spiegato in maggior dettaglio, la direzione longitudinale z della maschera di resist 15, corrispondente alla direzione longitudinale dei canali sepolti da realizzare nel substrato 2, è parallela al "flat" della fetta 1 avente orientamento $\langle 111 \rangle$, come mostrato in figura 2.

Utilizzando la maschera di resist 15, vengono attaccati in successione il secondo strato di nitruro 10, lo strato di polisilicio 9 e il primo strato di nitruro 8, ottenendo una maschera hard 18 formata dalle porzioni rimanenti degli strati 8-10 ed avente la stessa configurazione della maschera di resist 15 mostrata in figura 4. Si ottiene quindi la struttura di figura 3.

Dopo la rimozione della maschera di resist 15 (figura 5) la maschera hard 18 viene attaccata utilizzando TMAH (tetrametilammonioidrossido) in modo da rimuovere sui lati parte del silicio policristallino scoperto dello strato di polisilicio 9 (fase di "undercut"); quindi viene depositato uno strato conforme di nitruro (ad esempio per uno spessore di 90 nm) che si fonde con il primo e il secondo strato di nitruro 8, 10. Successivamente, figura 6, la struttura viene attaccata in dry in

-7-

modo da rimuovere completamente le porzioni dello strato conforme di nitruro estendentisi immediatamente al di sopra dello strato di ossido di "pad" 7. Si ottiene quindi la struttura di figura 6, in cui al di sopra dello strato di ossido di "pad" 7 è presente una maschera hard 18 a forma di griglia al di sopra della zona dove devono essere realizzati i canali, sostanzialmente corrispondente alla maschera di resist 15 e formata dallo strato di polisilicio 9 circondato da uno strato di copertura 19, a sua volta formato dagli strati di nitruro 8, 10 e dallo strato di nitruro conforme.

Dopo la realizzazione della maschera hard 18, figura 7, il secondo strato di nitruro 10 e lo strato di polisilicio 9 vengono attaccati esternamente alla zona in cui devono essere realizzati i canali utilizzando una maschera di resist 17. Dopo la rimozione della maschera di resist 17, figura 8, lo strato di ossido di "pad" 7 viene attaccato in acido fluoridrico 1:10 e rimosso dove esposto; in particolare all'esterno della zona dove devono essere realizzati i canali, l'ossido di "pad" 7 è protetto dal primo strato di nitruro 8.

Quindi, figura 9, il silicio monocristallino del substrato 2 viene attaccato utilizzando TMAH fino ad una profondità di 500-600 μm , formando uno o più canali

21.

L'utilizzo di un substrato 2 con orientazione $\langle 110 \rangle$, la configurazione della maschera hard 18 e il suo orientamento rispetto alla fetta 1 fanno sì che l'attacco del silicio nella direzione y (verticale) sia privilegiato rispetto a quello nella direzione x con un rapporto di velocità pari a circa 30:1. In tal modo, l'attacco TMAH dà origine ad uno o più canali 21 le cui pareti verticali sono parallele al piano cristallografico $\langle 111 \rangle$, come mostrato nella sezione prospettica di figura 10.

L'elevata profondità dei canali 21, ottenibile grazie alle condizioni di attacco indicate, consente di ridurre il numero di canali 21 necessari per il trattamento di una prefissata quantità di liquido e quindi di ridurre l'area occupata dai canali 21 stessi. Ad esempio, nel caso si voglia ottenere una capienza di 1 μl con canali 21 lunghi 10 mm in direzione z, dove in precedenza era stato proposto di realizzare venti canali di larghezza 200 μm (in direzione x) e profondità 25 μm (in direzione y), con un ingombro trasversale totale di circa 5 mm in direzione x (supponendo i canali ad una distanza reciproca di 50 μm), è ora possibile realizzare due soli canali 21 di larghezza 100 μm in direzione x e profondità 500 μm , con un ingombro trasversale complessivo di 0,3 mm in direzione x, disponendo i canali

-9-

ad una distanza reciproca di 100 μm , o addirittura è possibile realizzare un solo canale 21 di larghezza 200 μm .

In seguito, figura 11, viene rimosso lo strato di
5 copertura 19 dal fronte della fetta 1 (strati di nitru-
ro 8, 10, strato conforme e strato di ossido di "pad"
7); in questa fase, gli strati di nitruro 8 e di ossido
di "pad" 7 vengono rimossi anche esternamente alla zona
dei canali 21, tranne che sulla periferia esterna dei
10 canali 21, al di sotto dello strato di polisilicio 9,
dove essi formano una regione di cornice indicata in
seguito complessivamente con 22.

Quindi, figura 12, viene cresciuto uno strato epi-
tassiale 23 avente spessore, ad esempio, di 10 μm . Come
15 è noto, la crescita epitassiale avviene sia in vertica-
le, sia in orizzontale e, al di sopra dello strato di
polisilicio 9, dà origine ad una porzione epitassiale
policristallina 23a e, al di sopra del substrato 2, dà
origine ad una porzione epitassiale monocristallina
20 23b. Al di sopra dello strato epitassiale 23 viene rea-
lizzato un primo strato isolante 25; preferibilmente il
primo strato isolante 25 viene ottenuto per ossidazione
termica del silicio dello strato epitassiale 23 fino ad
uno spessore di, ad esempio, 500 nm.

25 Successivamente, figura 13, vengono realizzati dei

-10-

riscaldatori 26, regioni di contatto 27 (e relative metallizzazioni) ed elettrodi di rilevamento 28. A tale scopo, viene inizialmente depositato e definito uno strato di silicio policristallino, in modo da formare l'elemento riscaldatore 26; viene realizzato un secondo strato isolante 30, di ossido di silicio depositato; vengono realizzate aperture nel secondo strato isolante 30; viene depositato e definito uno strato di alluminio-silicio, per realizzare le regioni di contatto 27, le linee di interconnessione (non mostrate) e una regione di connessione 31 per l'elettrodo di rilevamento 28; viene depositato un terzo strato di isolamento 32, ad esempio di TEOS, che viene rimosso dove deve essere realizzato l'elettrodo di rilevamento 28; quindi vengono realizzate regioni di titanio, nichel e oro formanti l'elettrodo di rilevamento 28, in modo di per sé noto.

In pratica, come visibile in figura 13, l'elemento riscaldatore 26 si estende al di sopra dell'area occupata dai canali 21, tranne che al di sopra delle estremità longitudinali dei canali 21 stessi, dove devono essere realizzate aperture di ingresso e di uscita (come in seguito descritto); le regioni di contatto 27 sono in contatto elettrico con due estremità opposte dell'elemento riscaldatore 26, per consentire il passaggio di corrente elettrica e il riscaldamento della zona

-11-

sottostante, e l'elettrodo di rilevamento 28 è lateralmente sfalsato rispetto ai canali 21 e si estende al di sopra della porzione monocristallina epitassiale 23b.

In seguito, figura 14, sul terzo strato isolante
s 32 viene formato e definito uno strato di protezione
33. A tale scopo, può essere depositato uno strato di
resist positivo standard, ad esempio a tre componenti,
formato da una resina NOVOLAC, un materiale fotosensibile
o "pac" (Photo-Active Compound) e un solvente,
10 quale etilmetilchetone e acido lattico, utilizzato normalmente
nella microelettronica per la definizione delle
strutture integrate. In alternativa, può essere utilizzato
un altro materiale compatibile, che possa essere sagomato
e resista all'attacco dry sia del silicio
15 del substrato 2 sia del materiale ancora da depositare
al di sopra dello strato di protezione 33, quale un ossido
da TEOS.

Usando lo strato di protezione 33 come maschera,
vengono attaccati il terzo, il secondo e il primo strato
20 isolante 32, 30 e 25. In tal modo, vengono ottenute
una apertura di ingresso 34a ed una apertura di uscita
34b che si estendono fino allo strato epitassiale 23,
sostanzialmente allineate alle estremità longitudinali
dei canali 21. Le aperture di ingresso 34a e di uscita
25 34b hanno preferibilmente lunghezza pari all'ingombro

-12-

trasversale complessivo dei canali 21 (in direzione x, perpendicolare al piano del disegno) e larghezza di circa 60 μm , in direzione z.

Quindi, figura 15, sullo strato di protezione 33 viene deposto uno strato di resist negativo 36 (ad esempio THB della JSR, per uno spessore di 10-20 μm) e sulla superficie posteriore della fetta 1 viene deposto e cotto uno strato di resist posteriore 37. Preferibilmente, lo strato di resist posteriore 37 è "SU8" (Shell Upon 8), prodotto dalla SOTEC MICROSYSTEMS, un resist negativo avente conducibilità compresa fra 0,1 e 1,4 $\text{W/m}^{\circ}\text{K}$, coefficiente di espansione termica $\text{CTE} \leq 50 \text{ ppm}/^{\circ}\text{K}$. Ad esempio, lo strato di resist 37 ha uno spessore compreso fra 300 μm e 1 mm, preferibilmente 500 μm .

Quindi lo strato di resist posteriore 37 viene definito in modo da formare un'apertura 38 dove deve essere rimosso il silicio monocristallino del substrato 2 per formare una membrana ("diaphragm") sospesa.

Successivamente, il substrato 2 viene attaccato dal retro utilizzando TMAH. L'attacco in TMAH si interrompe automaticamente sul primo strato isolante 25, agente quindi come uno strato di stop. In tal modo, una cavità 44 si forma sul retro della fetta 1, al di sotto dell'elettrodo di rilevamento 28, mentre il lato fron-

-13-

tale della fetta è protetto dallo strato di resist negativo 36, non ancora definito. Gli strati isolanti 32, 30, 25, in corrispondenza della cavità 44, definiscono quindi una membrana sospesa 45 che è esposta su entrambi i lati all'ambiente esterno ed è supportata solo in corrispondenza del suo perimetro.

In seguito, figura 16, lo strato di resist negativo 36 viene rimosso; quindi viene depositato e cotto uno strato di resist frontale 39. Preferibilmente lo strato di resist frontale 39 è di SU8, con le stesse caratteristiche sopra indicate per lo strato di resist posteriore 37. Quindi, lo strato di resist frontale 39 viene definito in modo da formare un serbatoio di ingresso 40a ed un serbatoio di uscita 40b. In particolare, il serbatoio di ingresso 40a è in comunicazione con l'apertura di ingresso 34a, mentre il serbatoio di uscita 40b è in comunicazione con l'apertura di uscita 34b e circonda l'elettrodo di rilevamento 28. Preferibilmente, i serbatoi 40a, 40b presentano lunghezza (in direzione x perpendicolare al piano di figura 16) leggermente maggiore dell'ingombro trasversale complessivo dei canali 21; il serbatoio di ingresso 40a presenta larghezza (in direzione z) compresa fra 300 μm e 1,5mm, preferibilmente pari a circa 1 mm, in modo da ottenere un volume di almeno 1 mm^3 e il serbatoio di uscita 40b

-14-

presenta larghezza (in direzione z) compresa fra 1 e 4 mm, preferibilmente pari a circa 2,5 mm.

Quindi, figura 16, usando come strato di mascheratura lo strato di resist frontale 39 e lo strato di protezione 33, viene attaccato il substrato 2, effettuando un attacco "trench" e rimuovendo il silicio al di sotto delle aperture di ingresso e di uscita 34a, 34b (figura 15). Si formano in tal modo trincee di accesso 41a e 41b inglobanti le aperture di ingresso e di uscita 34a, 34b ed estendentisi fino ai canali 21, in modo da connettere i canali 21 stessi fra loro in parallelo e ai serbatoi di ingresso 40a e di uscita 40b.

Infine la porzione esposta dello strato di protezione 33 viene rimossa, in modo da esporre nuovamente l'elettrodo di rilevamento 28, e la fetta 1 viene tagliata in "dice" per ottenere una pluralità di microreattori formati da un corpo monolitico 50.

I vantaggi ottenibili con microreattore descritto sono i seguenti. In primo luogo, la realizzazione degli elettrodi di rilevamento 28 su membrane sospese 45 esposte su entrambi i lati garantisce che essi si mantengano a temperatura ambiente, indipendentemente dalla temperatura a cui vengono mantenuti i canali 21 durante la reazione.

L'isolamento termico fra gli elettrodi di rileva-

-15-

mento 28 e i canali 21 viene incrementato inoltre dalla presenza di materiale isolante (strati isolanti 25, 30 e 32) fra gli elettrodi di rilevamento 28 stessi e lo strato epitassiale 23.

5 Il microreattore presenta dimensioni molto ridotte grazie alla elevata profondità dei canali 21 che, come sopra indicato, consente di ridurre il numero di canali necessari per unità di volume di liquido trattato. Inoltre, la realizzazione richiede fasi usuali nella
10 microelettronica, con costi ridotti per pezzo; il processo è inoltre scarsamente critico, presenta elevata produttività e non richiede l'uso di materiali critici.

Risulta infine chiaro che al microreattore e al procedimento di fabbricazione qui descritti ed illustrati
15 strati possono essere apportate numerose modifiche e varianti, tutte rientranti nell'ambito del concetto inventivo, come definito nelle rivendicazioni allegate.

Ad esempio, il materiale della membrana 45 può differire da quanto descritto; ad esempio il primo e il
20 secondo strato isolante 25, 30 possono essere realizzati di nitruro di silicio, invece o oltre che di ossido.

Il tipo di resist utilizzato per la formazione degli strati 33, 36, 37 e 39 può essere differente da quelli descritti; ad esempio, lo strato di protezione
25 33 può essere realizzato con un resist negativo, invece

-16-

che positivo, o altro materiale di protezione resistente all'attacco degli strati di resist frontale 39 e posteriore 37 e del silicio e rimovibile selettivamente rispetto al secondo strato isolante 30; e gli strati di resist frontale 39 e posteriore 37 possono essere realizzati con un resist positivo, invece che negativo. Inoltre, secondo una variante descritta nella summenzionata domanda di brevetto europeo 00830400.8, i serbatoi di ingresso e uscita possono essere formati in uno strato di resist secco ("dry resist") fotosensibile. In tal caso, le trincee di accesso possono essere realizzate prima di applicare lo strato di dry resist fotosensibile.

Secondo una differente forma di realizzazione, non viene utilizzato lo strato di resist negativo 36 e viene depositato direttamente lo strato di resist frontale 39; quindi, prima di definire lo strato di resist posteriore 37 ed attaccare il substrato 2 dal retro, lo strato di resist frontale 39 viene definito per formare i serbatoi 40a, 40b e quindi le trincee di accesso 41a, 41b; in questo caso, successivamente, proteggendo il fronte della fetta con una struttura di supporto dotata di anelli di tenuta, viene realizzata la cavità 44 e definita la membrana 45.

Infine, nel caso che i canali 21 debbano presenta-

-17-

re uno spessore ridotto (25 μm , fino a 100 μm), la maschera hard 18 può essere formata semplicemente da uno strato di ossido di "pad" e da uno strato di nitruro. In questo caso, figura 17, sul substrato 2 di una fetta 5 1' vengono formati lo strato di ossido di "pad" e lo strato di nitruro. Quindi, lo strato di ossido di "pad" e lo strato di nitruro vengono rimossi esternamente alla zona dove devono essere realizzati i canali, formando regioni di ossido di "pad" 7' e di nitruro 8'; successivamente, sul substrato 2 viene cresciuto un secondo strato di ossido di "pad" 70. In seguito, figura 18, la fetta 1' viene mascherata con la maschera di resist 15 avente finestre 16, analogamente alla figura 3; successivamente, figura 19, viene effettuato l'attacco in 15 TMAH per la realizzazione dei canali 21 usando la maschera hard 18. In questa fase, il substrato 2 è protetto, esternamente alla zona dei canali, dal secondo strato di ossido di "pad" 70. In seguito, figura 20, il secondo strato di ossido di "pad" 70 e in parte anche 20 il primo strato di ossido di "pad" 7, che deve essere dimensionato opportunamente vengono rimossi in HF dalla zona esterna a quella dove devono essere realizzati i canali, lasciando le porzioni rimanenti 22' degli strati di ossido di "pad" 7 e di nitruro 8, e viene effettuata la crescita epitassiale usando silano a bassa 25

-18-

temperatura.

In queste condizioni, si ha la germinazione di silicio anche sul nitruro; in particolare cresce uno strato epitassiale 23 avente una porzione policristallina 23a al di sopra della maschera hard 18 e una porzione monocristallina 23b al di sopra del substrato 2, analogamente alla figura 12. Seguono quindi le altre operazioni fino all'ottenimento di un corpo monolitico 50 (figura 16) come in precedenza descritto.

10 In alternativa a quanto mostrato in figura 17, gli strati di ossido di "pad" 7 e di nitruro 8 non vengono rimossi esternamente alla zona dei canali; e, dopo la formazione dei canali 21 (figura 19), viene realizzata una ossidazione che ricopre le pareti dei canali 21, 15 viene deposto uno strato di TEOS che chiude superiormente le porzioni 22'; tramite un'apposita maschera, vengono rimossi gli strati dielettrici esternamente alla zona dei canali fino a scoprire il substrato 2; infine viene cresciuto lo strato epitassiale 23.

20 Il presente procedimento può essere inoltre applicato anche a substrati standard con orientamento $\langle 100 \rangle$, nel caso non siano necessari elevate profondità dei canali.

-1-

RIVENDICAZIONI

1. Microreattore integrato, comprendente:

un corpo monolitico (50) comprendente almeno una regione di materiale semiconduttore (2, 23);

5 almeno un canale sepolto ("buried") (21) estendentesi all'interno di detta regione di materiale semiconduttore (2, 23);

una prima ed una seconda cavità di accesso (40a, 40b, 41a, 41b) estendentisi in detto corpo monolitico
10 (50) e in comunicazione con detto canale sepolto (21);

una membrana sospesa (45) formata da detto corpo monolitico (50) lateralmente a detto canale sepolto (21); e

almeno un elettrodo di rilevamento (28) portato da
15 detta membrana sospesa (45).

2. Microreattore secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detto corpo monolitico (50) comprende una regione isolante (25, 30) sovrapposta a detta regione di materiale semiconduttore (2, 23) e
20 formante detta membrana sospesa (45).

3. Microreattore secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto di comprendere almeno un elemento riscaldatore (26) estendentesi al di sopra di detta regione di materiale semiconduttore (2, 23), sopra detto
25 canale sepolto (21).

-2-

4. Microreattore secondo la rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto che detto elemento riscaldatore (26) è annegato in detta regione isolante (25, 30).

5. Microreattore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 2-4, caratterizzato dal fatto che detto elettrodo di rilevamento (28) si estende al di sopra di detta regione isolante (25, 30).

6. Microreattore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 2-5, caratterizzato dal fatto che detta regione di materiale semiconduttore (2, 23) comprende un substrato monocristallino (2) ed uno strato epitassiale (23) fra loro sovrapposti.

7. Microreattore secondo la rivendicazione 6, caratterizzato dal fatto che detta regione di materiale semiconduttore (2, 23) presenta una cavità (44) estendentesi al di sotto di detta membrana (45) fino a detta regione isolante (25, 30).

8. Microreattore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 2-7, caratterizzato dal fatto che detto corpo monolitico (50) comprende una regione serbatoio (39), estendentesi al di sopra di detta regione isolante (25, 30) e definente un primo ed un secondo serbatoio (40a, 40b) collegati ad una prima e, rispettivamente, una seconda trincea (41a, 41b) estendentesi attraverso detta regione isolante (25, 30) e detta regio-

-3-

ne di materiale semiconduttore (2, 23) fino a detto canale sepolto (21), detto secondo serbatoio (40b) alloggiando detto elettrodo di rilevamento (28).

9. Microreattore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che detta regione di materiale semiconduttore (2, 23) comprende un substrato monocristallino (2) avente orientamento cristallografico $\langle 110 \rangle$ e dal fatto che detto canale sepolto (21) ha direzione longitudinale sostanzialmente parallela ad un piano di orientamento cristallografico $\langle 111 \rangle$.

10. Microreattore secondo la rivendicazione 9, caratterizzato dal fatto che detto canale sepolto (21) ha profondità fino a 600-700 μm .

11. Procedimento per la fabbricazione di un microreattore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto di comprendere le fasi di:

formare un corpo monolitico (50), detta fase di formare un corpo monolitico comprendendo formare almeno una regione di materiale semiconduttore (2, 23);

formare almeno un canale sepolto (21) estendentesi in detta regione di materiale semiconduttore (2, 23);

formare una prima ed una seconda cavità di accesso (40a, 40b, 41a, 41b) estendentisi in detto corpo mono-

-4-

litico fino a detto canale sepolto (21);

formare una membrana sospesa (45) lateralmente a detto canale sepolto (21); e

formare almeno un elettrodo di rilevamento (28) su
5 detta membrana sospesa (45).

12. Procedimento secondo la rivendicazione 11, caratterizzato dal fatto che detta fase di formare un corpo monolitico (50) comprende la fase di formare una regione isolante (25, 30) al di sopra di detta regione
10 di materiale semiconduttore (2, 23) prima di detta fase di formare almeno un elettrodo di rilevamento (28).

13. Procedimento secondo la rivendicazione 12, caratterizzato dal fatto di comprendere la fase di formare almeno un elemento riscaldatore (26) in detta regione isolante (25, 30), al di sopra di detto canale sepolto (21).
15

14. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 11-13, caratterizzato dal fatto che detta fase di formare una regione di materiale semiconduttore
20 (2, 23) comprende le fasi di formare un substrato monocristallino (2); formare detto canale sepolto (21) in detto substrato monocristallino; e crescere uno strato epitassiale (23) al di sopra di detto substrato monocristallino e di detto canale sepolto.

25 15. Procedimento secondo una qualsiasi delle ri-

-5-

vendicazioni 12-14, caratterizzato dal fatto che detta fase di formare detta membrana (45) comprende la fase di rimuovere selettivamente parte di detta regione di materiale semiconduttore (2, 23) fino a detto strato
5 isolante (25, 30).

16. Procedimento secondo la rivendicazione 17, caratterizzato dal fatto che detta fase di rimuovere comprende attaccare detta regione di materiale semiconduttore (2, 23) utilizzando TMAH.

10 17. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 14-16, caratterizzato dal fatto che detta fase di formare un substrato monocristallino (2) comprende crescere materiale semiconduttore avente orientamento $\langle 110 \rangle$, e dal fatto che detta fase di realizzare
15 un canale sepolto (21) comprende attaccare detto substrato monocristallino (2) lungo un direzione parallela ad un piano di orientamento $\langle 111 \rangle$.

18. Procedimento secondo la rivendicazione 17, caratterizzato dal fatto che durante detta fase di attaccare detto substrato monocristallino (2) viene utilizzata una maschera a griglia (18) avente aperture poligonali (20) con lati estendentisi a circa 45° rispetto
20 a detto piano di orientamento $\langle 111 \rangle$.

19. Procedimento secondo la rivendicazione 17 o
25 18, caratterizzato dal fatto che detto substrato mono-

-6-

cristallino (2) viene attaccato utilizzando TMAH.

20. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 14-19, caratterizzato dal fatto che detta fase di formare un canale sepolto (21) comprende mascherare detto substrato (2) tramite una maschera hard (18; 18') con forma a griglia e attaccare detto substrato attraverso della maschera hard (18).

21. Procedimento secondo la rivendicazione 20, caratterizzato dal fatto che detta maschera hard (18) comprende una regione policristallina (9) circondata da uno strato di copertura (19) di materiale dielettrico e dal fatto che, dopo detta fase di attaccare detto substrato, detto strato di copertura (19) viene rimosso e detto strato epitassiale cresce al di sopra di detta regione policristallina (9), dove forma una regione policristallina (23a), e al di sopra di detto substrato (2), dove forma una regione monocristallina (23b).

22. Procedimento secondo la rivendicazione 20, caratterizzato dal fatto che detta maschera hard (18') comprende una griglia di materiale dielettrico (22') e dal fatto che detto strato epitassiale (23) cresce al di sopra di detto substrato (2) e di detta griglia di materiale dielettrico (22'), formando una regione monocristallina (23b) al di sopra di detto substrato (2) ed una regione policristallina (23a) al di sopra di detta

-7-

griglia di materiale dielettrico (22').

-1-

RIASSUNTO

Microreattore integrato formato da un corpo monolitico (50) includente una regione di materiale semiconduttore (2, 23) ed uno strato isolante (25, 30); un canale sepolto (21) estendentesi nella regione di materiale semiconduttore; una prima ed una seconda trincea di accesso (40a, 40b) estendentisi nella regione di materiale semiconduttore (2, 23) e nello strato isolante (25, 30) e in comunicazione con il canale sepolto (21); un primo ed un secondo serbatoio (41a, 41b) formati al di sopra dello strato isolante (25, 30) e in comunicazione con la prima e la seconda trincea di accesso; una membrana sospesa (45) formata dallo strato isolante (25, 30) lateralmente al canale sepolto (21); ed un elettrodo di rilevamento (28) portato dalla membrana sospesa (45) al di sopra dello strato isolante (25, 30) e all'interno del secondo serbatoio.

Fig. 16

1 / 6

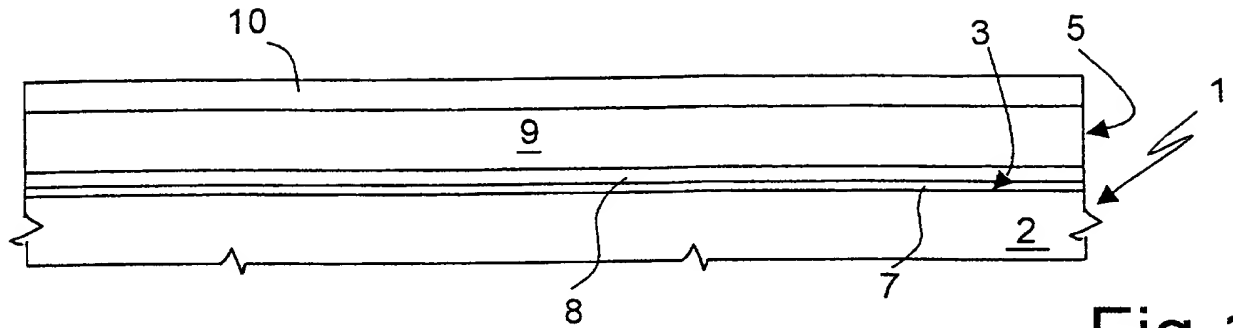


Fig.1

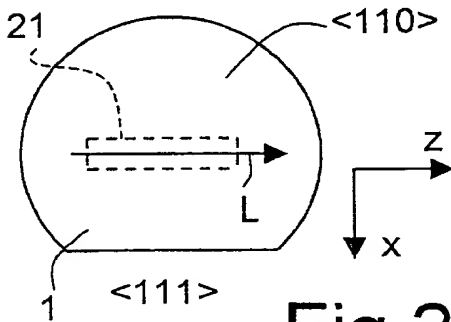


Fig.2

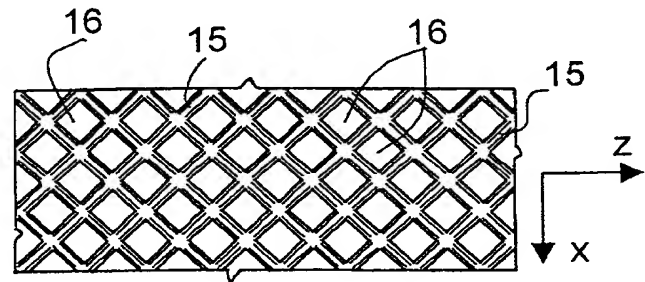


Fig.4

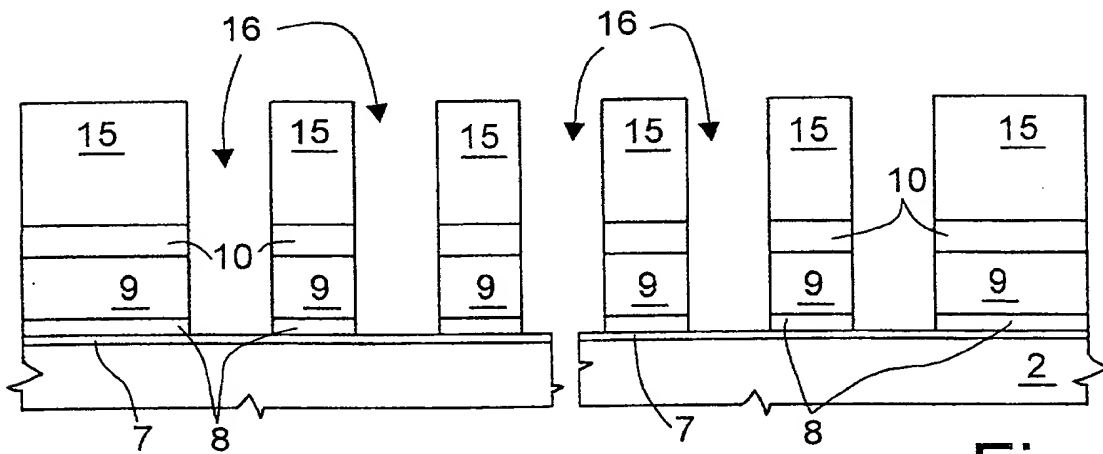


Fig.3

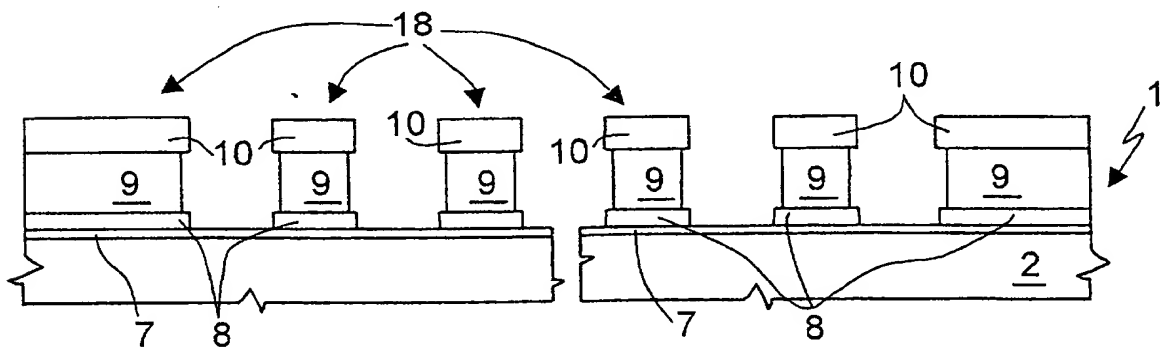


Fig.5

2 / 6

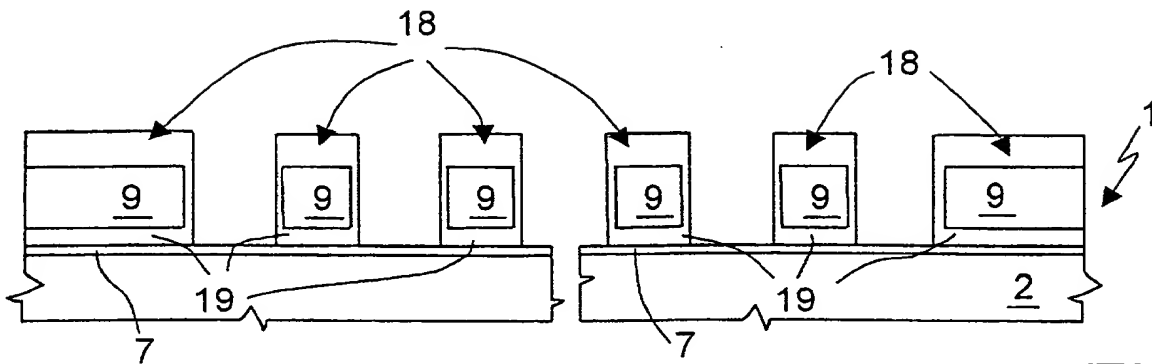


Fig.6

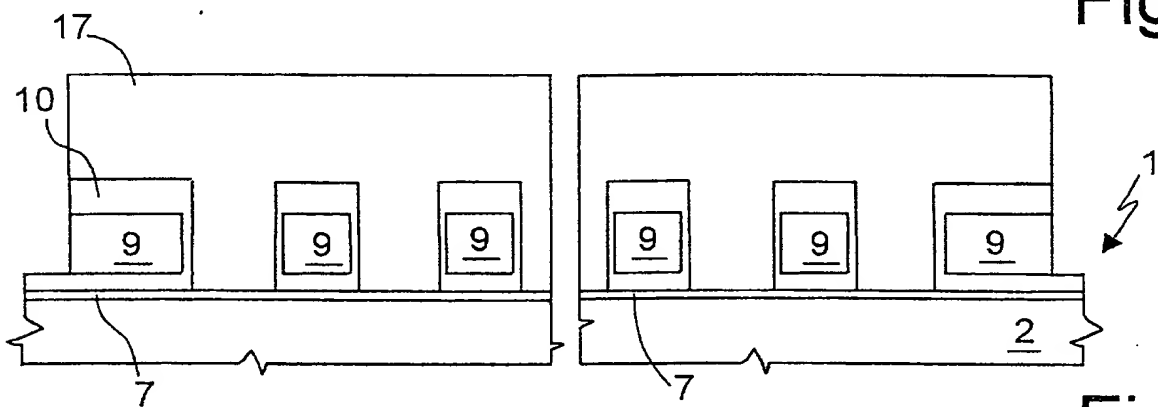


Fig.7

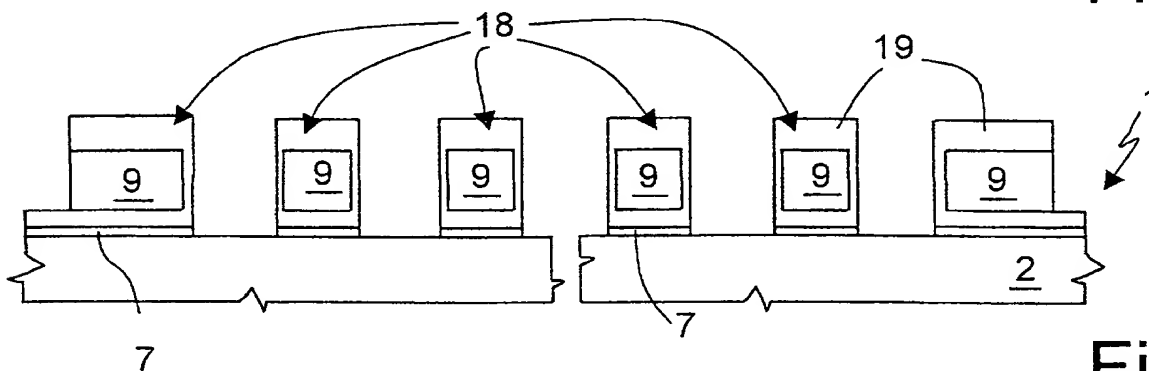


Fig.8

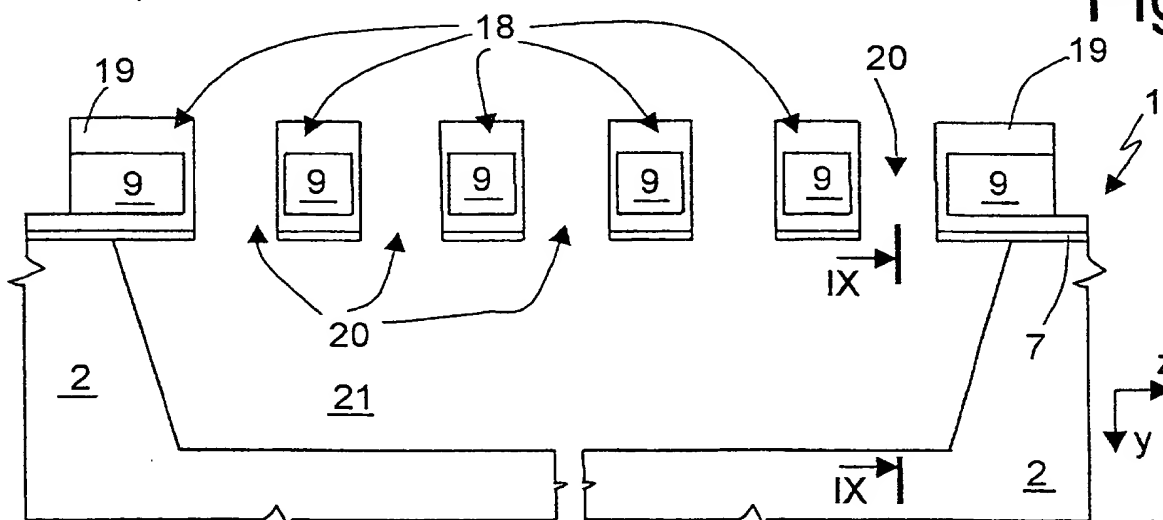


Fig.9

3 / 6

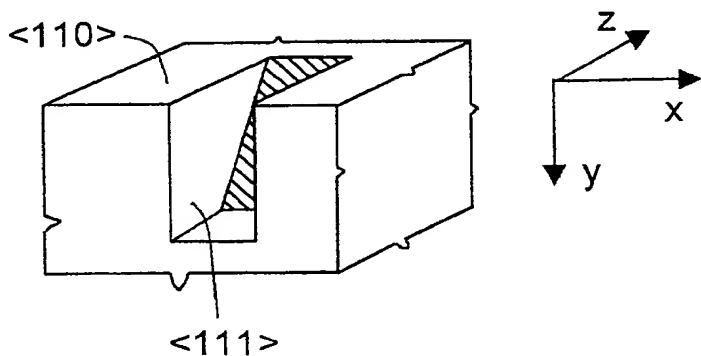


Fig. 10

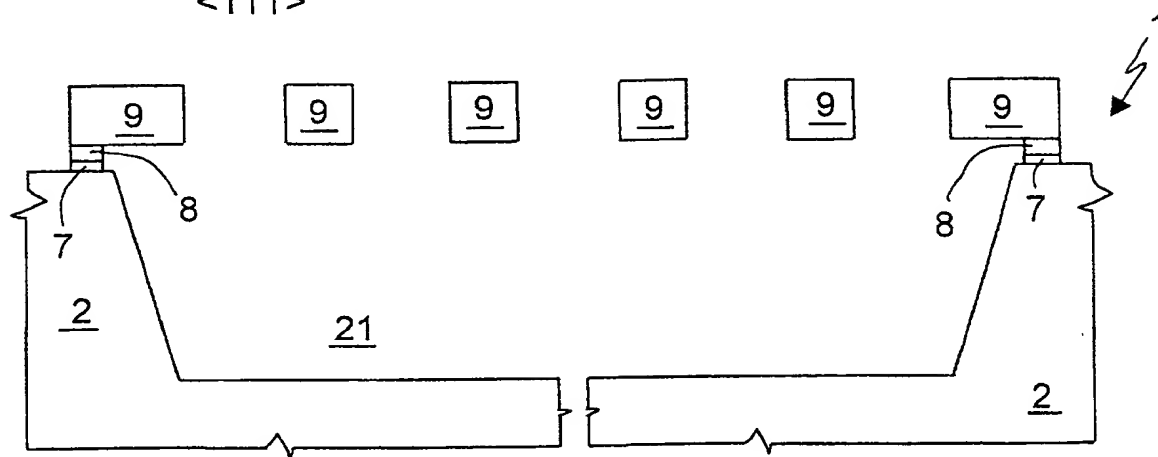


Fig. 11

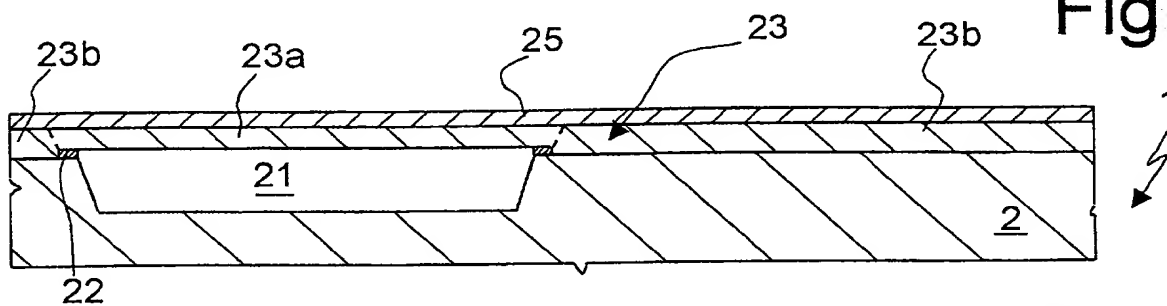


Fig. 12

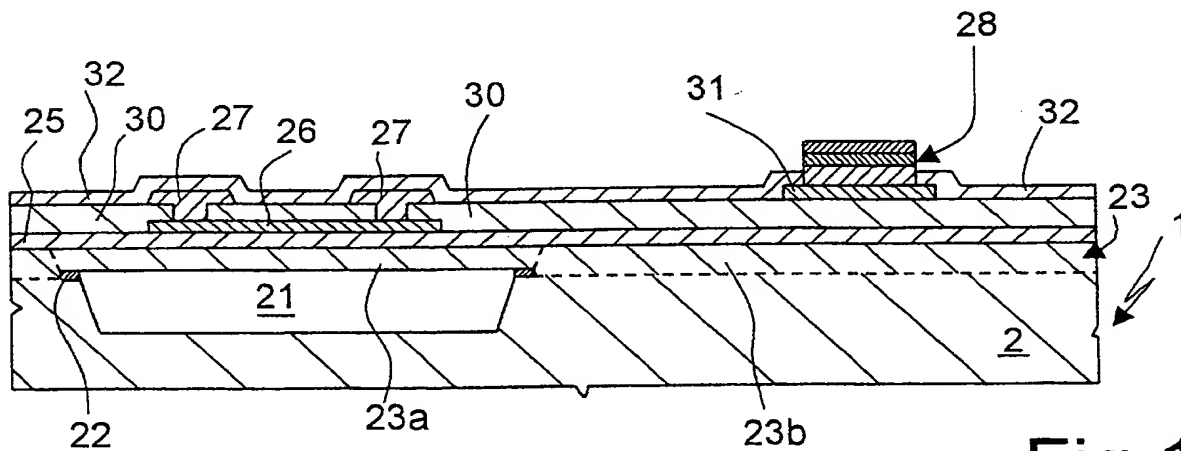


Fig. 13

4 / 6

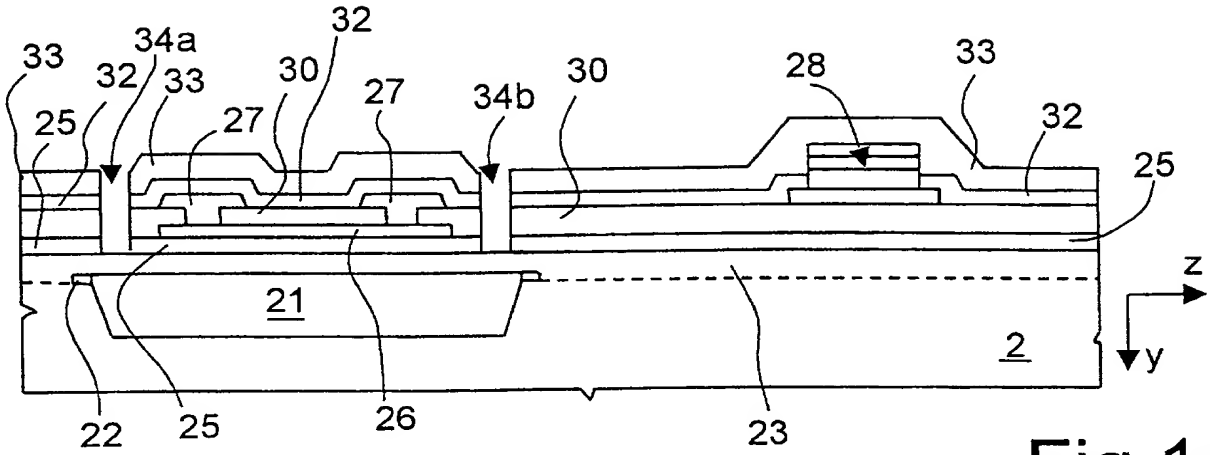


Fig.14

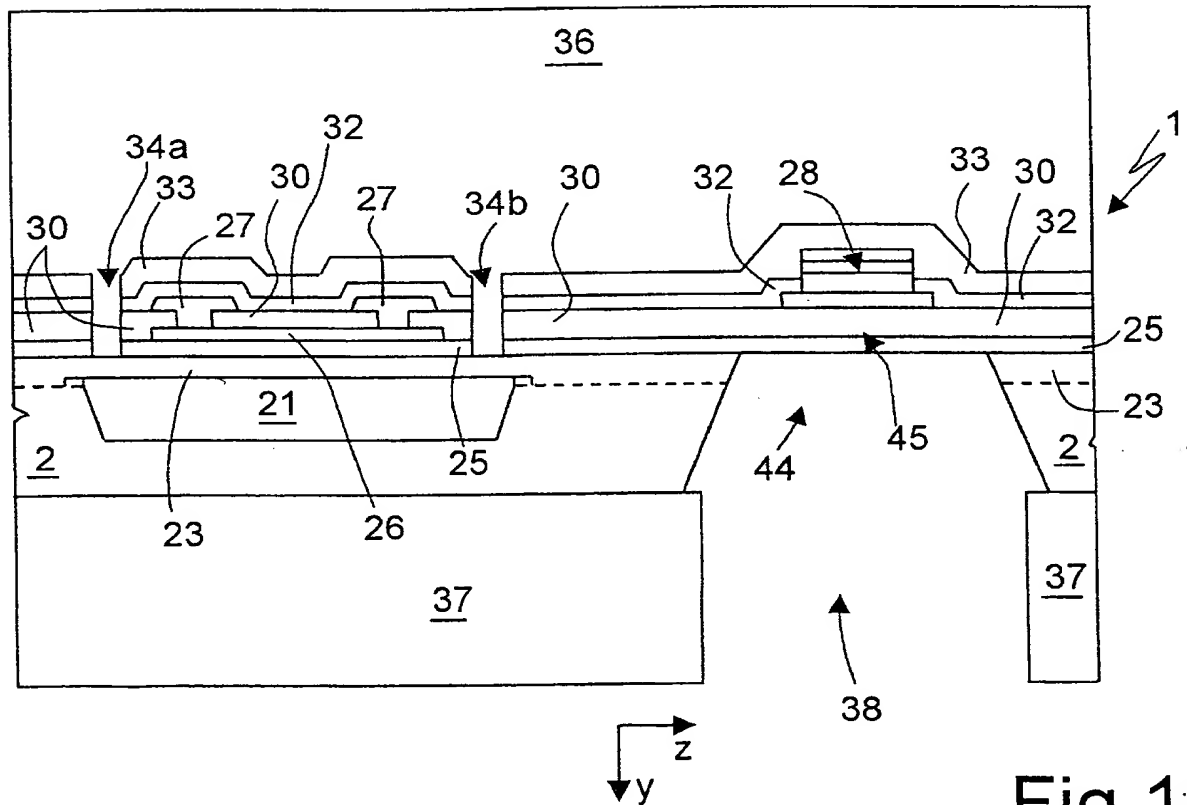


Fig.15

5 / 6

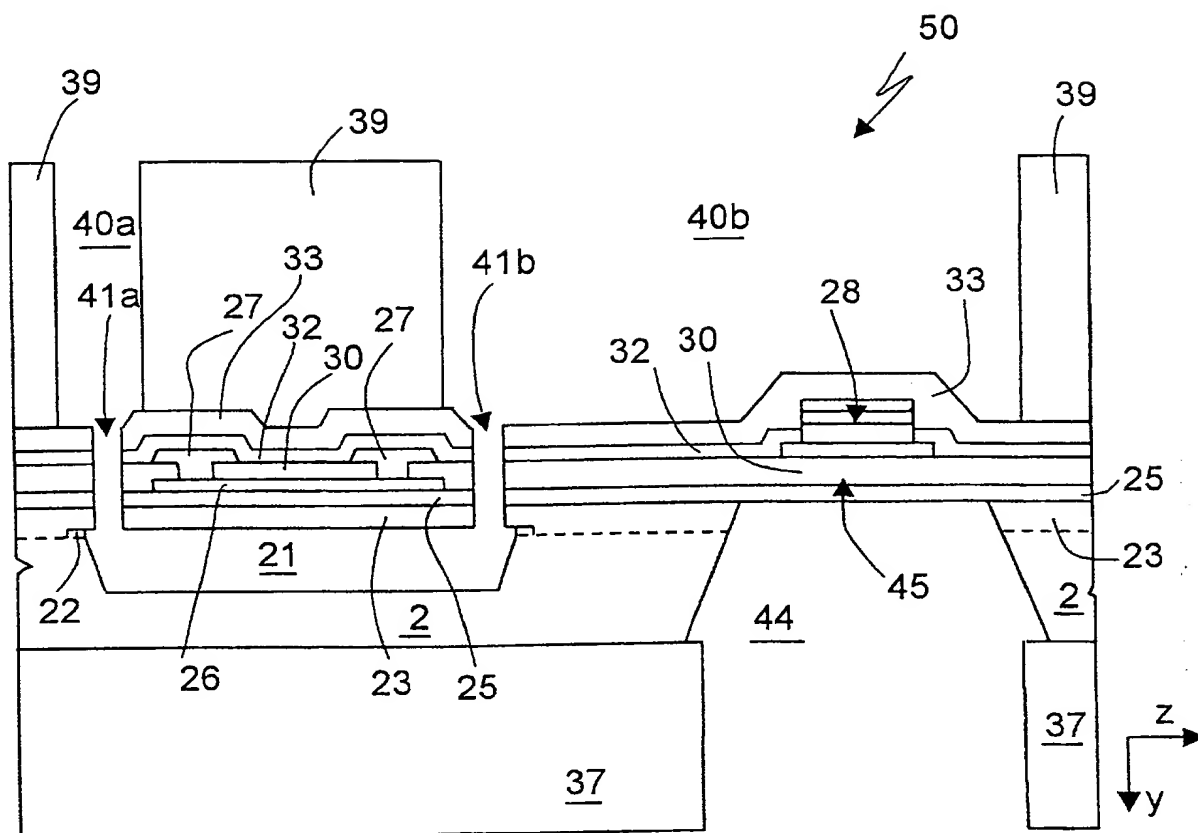


Fig. 16

6 / 6

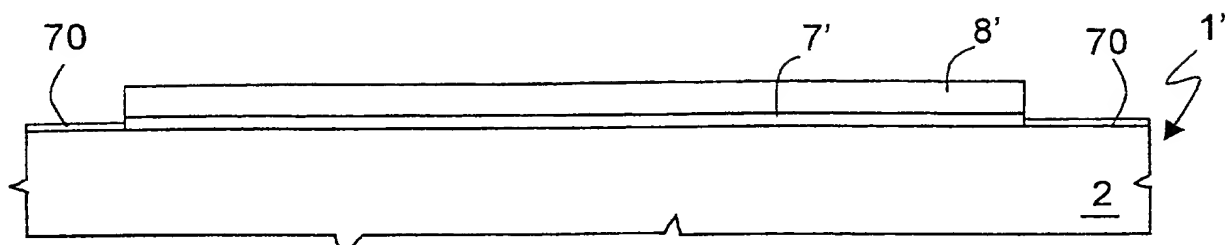


Fig.17

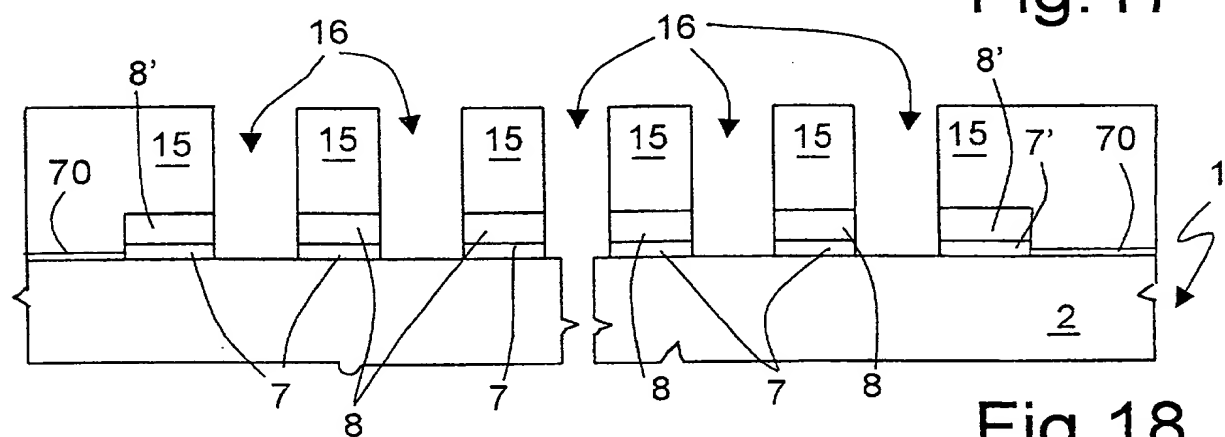


Fig.18

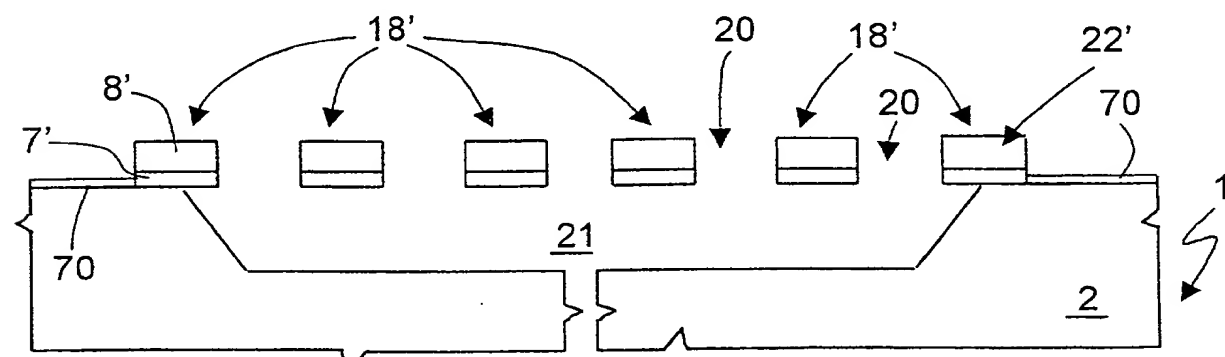


Fig.19

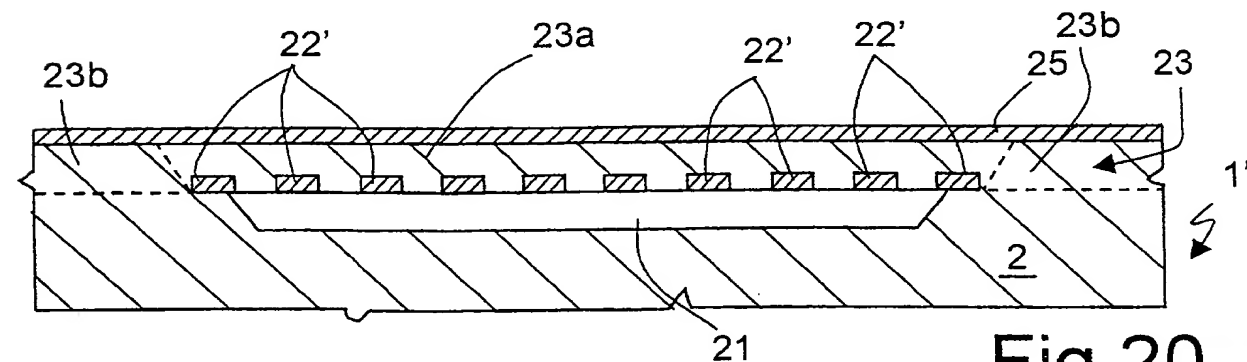


Fig.20